บทความวิชาการ (ภาษาไทย) : ACADEMIC ARTICLE (THAI)

การใช้แบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ วิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของลมจากการก่อสร้างอาคารสูง

USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC MODELING TO ANALYZES WIND BEHAVIOR FROM HIGH-RISE BUILDING CONSTRUCTION

ฉันทมน โพธิพิทักษ์
CHANTAMON POTIPITUK
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY RATTANAKOSIN
จังหวัดนครปฐม
NAKHON PATHOM PROVINCE

รับบทความ : 30 มีนาคม 2564 / ปรับแก้ไข : 13 กรกฎาคม 2564 / ตอบรับบทความ : 2 สิงหาคม 2564
Received : 30 March 2021 / Revised : 13 July 2021 / Accepted : 2 August 2021

บทคัดย่อ

พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2561 กำหนดให้มีการประเมินในประเด็นที่เกี่ยวข้องกับการบดบังลมซึ่งเป็นผลมาจากการก่อสร้างโครงการอาคารใหม่ เพื่อดำรงรักษาคุณภาพชีวิตของบริบทโดยรอบของโครงการอาคารที่ก่อสร้างขึ้นใหม่ โดยมีการประเมินจากการบดบังลมจากการก่อสร้างโครงการอาคารใหม่ในหลายวิธี หนึ่งในวิธีการประเมินที่ได้รับการยอมรับ คือ การใช้แบบจำลองที่เชื่อถือได้ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ โดยมีหลักการแสดงการจำลองการไหลเวียนของลมที่เคลื่อนที่ผ่านบริบทและสภาพแวดล้อมโดยรอบของโครงการอาคารนั้น ดังนั้นแนวทางในการจัดทำรายงานการศึกษาด้านการเปลี่ยนแปลงของลมจากการก่อสร้างโครงการอาคารจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อใช้ประกอบในการจัดทำรายงานการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยใช้ข้อมูลที่จำเป็น ได้แก่ ความเร็วลมที่เป็นค่าเฉลี่ยและทิศทาง ที่เป็นข้อมูลสถิติในคาบ 10 ปีล่าสุดของกรมอุตุนิยมวิทยา การตั้งค่าคำนวณของไหลเป็นแบบ Turbulence k-**ε** รูปแบบการจำลองของลมเป็นแบบ Power law เพื่อจำลองลักษณะการไหลของอากาศแบบ Turbulence โดยเป็นการจำลองการวิเคราะห์พฤติกรรมของลมที่คาดการณ์ไว้กับเกณฑ์ต่าง ๆ ที่เหมาะสมสำหรับกิจกรรมและการรับรู้ที่มีผลต่อสภาวะน่าสบายของมนุษย์และกำหนดเป็นอาคารและบ้านที่ได้รับผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ อันจะเป็นประโยชน์ในการลดความขัดแย้งรวมถึงการร้องเรียน ฟ้องร้องจากประชาชน ผู้อยู่อาศัยบริเวณโดยรอบการก่อสร้างโครงการอาคารนั้น

คำสำคัญ : แบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ, พฤติกรรมของลม, อาคารสูง, การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ABSTRACT

The Promotion and Conservation of the National Environmental Quality Act (No. 2) B.E. 2561 requires the assessment of issues associated with wind blockage resulting from new construction. Environmental impact studies of such areas are necessary to preserve the quality of life in

places experiencing new construction. Guidelines for the study of wind effects are needed to assist with environmental impact assessment reports. There are several ways to execute the appropriate approaches to develop these guidelines. These include the use of reliable models that are based on computational fluid dynamics. Such an approach considers the atmosphere as a fluid moving across and through an as-built environment. There may be several inputs, but the data needed by such models are wind speed and direction. The mean wind speed data was considered in this study. This is most often historical and statistical data for the preceding 10-year period. It is usually obtained from a meteorological department. A simulation is built that uses the Turbulence k-ε model, a Power law model, to simulate the turbulent flow characteristics of air moving through and across an as-built environment. This model was applied to analyze the projected wind behavior against criteria that are appropriate for activities and perceptions affecting human comfort. Finally, the prominent buildings were be defined as affected stakeholders. This approach will become the guidelines that will be useful in reducing conflicts, complaints, and potential lawsuits by the people who reside around these new construction projects.

Keywords : Computational fluid dynamic modeling, Wind behavior, High-rise building, Environmental impact assessment

บทนำ

หลักการและเหตุผล

ปัจจุบันในการจัดทำรายงานการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมโครงการ ซึ่งครอบคลุมกิจกรรมสำหรับโครงการพัฒนารูปแบบต่าง ๆ เช่น อาคารที่พักอาศัย โรงแรม และการจัดสรรที่ดิน เป็นต้น ต้องจัดทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2561 จะต้องดำเนินการจัดทำรายงานผลกระทบสิ่งแวดล้อม ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขของการพิจารณารายงานการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมโครงการตามที่กำหนดไว้ โดยมีรายละเอียดที่ครอบคลุมประเด็นสำคัญ ทั้งในด้านทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ ทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพ คุณค่าการใช้ประโยชน์และคุณค่าต่อคุณภาพชีวิต ซึ่งในส่วนผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของลมจากการก่อสร้างโครงการอาคารนับเป็นประเด็น ที่ต้องให้ความสำคัญ เนื่องจากสามารถส่งผลกระทบต่อวิถีชีวิตการใช้ชีวิตของประชาชนที่อยู่อาศัยโดยรอบ อีกทั้งยังเป็นที่สนใจของทุกภาคส่วนอีกด้วย โดยหน่วยงานที่พิจารณาในการอนุมัติให้สามารถก่อสร้างโครงการอาคาร คือ สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมในส่วนภูมิภาคและส่วนโครงการอาคารที่มิได้อยู่ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร และหากโครงการอาคารอยู่ในพื้นที่กรุงเทพมหานคร จะมีหน่วยงานย่อยที่พิจารณาในการอนุมัติ คือ คณะกรรมการผู้ชำนาญการพิจารณารายงานผลกระทบสิ่งแวดล้อม (คชก.) ของกรุงเทพมหานคร ซึ่งในรายงานผลกระทบสิ่งแวดล้อม จะนำเสนอเป็นมาตรการเพื่อลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม โครงการอาคาร โดยจะต้องชัดเจน ครอบคลุมในผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการก่อสร้างโครงการอาคารนั้น ก่อนที่จะกำหนดมาตรการเพื่อลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม โครงการอาคารต้องคาดหมายปัญหาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการก่อสร้างโครงการอาคารนั้น ๆ และจำเป็นต้องมีการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้น การประเมินผลลกระทบด้านการเปลี่ยนแปลงลม ก็เป็นเรื่องที่สำคัญเรื่องหนึ่งที่เกี่ยวเนื่องกับการดำรงชีวิต

การอยู่อาศัยตลอดจนสภาวะน่าสบาย ที่จำเป็นต้องทราบถึงอาคารข้างเคียงใด เกิดผลกระทบในระดับใด และนำผลประเมินนี้ชี้แจงต่ออาคารระยะประชิด อาคารข้างเคียง เพื่อทราบถึงระดับผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อบริบทโดยรอบ และจึงสามารถกำหนดมาตรการเพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการก่อสร้างโครงการอาคารได้ (Siwadechathep, 2021, p. 8) ดังนั้นการประเมินด้านการเปลี่ยนแปลงของลมจากการก่อสร้างโครงการอาคารจึงเป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญ ที่ต้องแสดงการประเมินที่ชัดเจน และน่าเชื่อถือตรงตามหลักวิชาการ เพื่อเป็นข้อมูลในการคาดการณ์ก่อนการก่อสร้างโครงการอาคารได้เสมือนจริง

ณ ปัจจุบัน การศึกษาและทำการประเมินคาดการณ์ด้านการเปลี่ยนแปลงของลมจากการก่อสร้างโครงการอาคารมีอยู่ 3 แบบ (Milinthisamai, 2021, p. 5) คือ 1) ใช้การคาดการณ์จากทิศทางลมหลักที่เกิดขึ้น นำมาแสดงผลเบื้องต้นด้วยการคาดการณ์ 2) ใช้วิธีการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้หลักการพลศาสตร์ของไหล หรือที่เรียกว่า Computational Fluid Dynamic (CFD) และ 3) ใช้การจำลองโดยใช้เทคนิคของอุโมงค์ลม (Wind tunnel) ซึ่งปัจจุบันในการประเมินคาดการณ์ด้านการเปลี่ยนแปลงของลมจากการก่อสร้างโครงการอาคารจะนิยมใช้แบบที่ 2 คือ ใช้วิธีการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้หลักการพลศาสตร์ของไหล หรือที่เรียกว่า Computational Fluid Dynamic (CFD) (Potipituk, 2021, p. 1) เนื่องจาก ให้การประมวลผลที่แม่นยำ น่าเชื่อถือและเป็นที่ยอมรับในวงวิชาการ และวงการวิจัยมากมาย (Raji et al., 2020, pp. 25-26) แต่อย่างใดก็ตาม ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ด้านการเปลี่ยนแปลงของลมจากการก่อสร้างโครงการอาคาร ที่ต้องจัดทำในรูปแบบรายงาน ประกอบในเล่ม รายงานการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมโครงการนั้น ยังมีความหลากหลายในขั้นตอนของการศึกษา และการประเมิน จากผู้ประเมินและผู้จัดทำรายงานการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมโครงการ

ดังนั้นแนวทางในการจัดทำรายงานการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม โครงการอาคารสำหรับการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ด้านการเปลี่ยนแปลงของลมจากการก่อสร้างโครงการอาคารนี้ จะเป็นแนวทางที่ได้ศึกษามาจาก 1) วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 2) จากผู้ประเมินทำแบบจำลองจริง และ 3) จากข้อร้องเรียนของประชาชนถึงผลกระทบสิ่งแวดล้อม โครงการอาคารสำหรับการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ด้านการเปลี่ยนแปลงของลมจากการก่อสร้างโครงการอาคาร ว่า แนวทางที่เหมาะสม นั้นควรมีแนวทางอย่างไร อันจะยังประโยชน์ให้เป็นแนวทางมาตรฐานที่มีความชัดเจน สำหรับผู้ประเมิน รวมถึง สำหรับผู้จัดทำรายงานการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมโครงการจะสามารถลดความขัดแย้ง รวมถึงการร้องเรียน ฟ้องร้องจากประชาชน ผู้อยู่อาศัยบริเวณโดยรอบการก่อสร้างโครงการอาคารได้

วัตถุประสงค์

เพื่อเสนอแนวทางในการจัดทำรายงานการศึกษาด้านการเปลี่ยนแปลงของลมจากการก่อสร้างโครงการอาคารประกอบในรายงานการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม

การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์คาดการณ์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) และการเปรียบเทียบกับการจำลองและทดสอบแบบจำลองในอุโมงค์ลม (Wind Tunnel)

พลศาสตร์ของการไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD) คือการวิเคราะห์ปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการไหล การถ่ายเทความร้อน การแพร่กระจายของอนุภาค รวมถึงการเกิดปฏิกิริยาเคมีต่าง ๆ โดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยหาผลและจำลองพฤติกรรมที่เกิดขึ้น (Tawonwan & Wansao, 2016, p. 33) หรือกล่าวโดยสั้น

ก็คือวิธีเชิงตัวเลขของการไหล ในการจัดทำรายงานการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ของโครงการอาคารสำหรับการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ได้มีการใช้กระบวนการ CFD ในหลาย ๆ โครงการ จากการศึกษาพบว่ามีงานวิจัยที่ได้ทำการเปรียบเทียบการทดลองระหว่าง เทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) และเปรียบเทียบผลการทดลองกับการทดลองจริงในอุโมงค์ลม เรื่อง การศึกษาพฤติกรรมการไหลของอากาศผ่านแถวทรงกระบอกตันในอุโมงค์ลมความเร็วลมต่ำ ด้วยเทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Tawonwan & Wansao, 2016, p. 33) พบว่า เทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) สามารถช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่าย ในการออกแบบ พัฒนา ปรับปรุง และสามารถทำให้เห็นภาพของการไหลได้ชัดเจนขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองที่ทำการทดลองในอุโมงค์ลม ในขณะเดียวกันการทดลองผ่านอุโมงลม มีค่าความคลาดเคลื่อน (Error) จากการรั่วไหลตามรอยต่อต่าง ๆ ของชิ้นส่วนอุโมงค์ลม

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบวิธีการของกระบวนการทดสอบโดยใช้อุโมงค์ลม (Wind tunnel) และการจำลองด้วยเทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD)

	Wind Tunnel Testing	CFD Analysis
Time	Long (months)	Fast (days)
Cost	High	Low
Resolution	Poor (few sample points)	High (high sampling and mapping of results)
Accuracy	Moderate/High	Moderate/High
Turbulence	High resolution	Moderate/abstract resolution
Regulation	High acceptance	Growing acceptance (ie. Eurocodes now permit CFD for Structural Load Calculations)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Watts, 2018, online.

การศึกษาการเปรียบเทียบระหว่างการใช้อุโมงค์ลม (Wind tunnel) และการใช้เทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) ที่ใช้กับการออกแบบการระบายอากาศตามธรรมชาติ (Alexander et al., 1996, pp. 1-12) ทั้งสองวิธีนี้สามารถให้ข้อมูลครอบคลุมเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการออกแบบ และทั้งสองวิธีการนั้นมีความสอดคล้องกัน แต่การใช้อุโมงค์ลม (Wind tunnel) มีข้อจำกัดใช้เวลานาน มีค่าใช้จ่ายสูง (ตารางที่ 1) จึงทำให้การใช้เทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) มีความนิยมมากกว่า เนื่องจากใช้เวลาที่รวดเร็วกว่า มีการจำลองแบบจำลองเสมือนจริง รวมถึงมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่า และมีความแม่นยำ ค่าความละเอียดแสดงผลออกมาได้ชัดเจนกว่าการใช้วิธีการทดสอบด้วยอุโมงค์ลม จะเห็นได้ว่าโครงการอาคารที่ต้องจัดทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม ตามพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2561 จำเป็นจะต้องมีการศึกษาและประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ด้านการเปลี่ยนแปลงของลมจากการก่อสร้างโครงการอาคารโดยเทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) โดยไม่จำเป็นต้องมีการศึกษาโดยการใช้อุโมงค์ลม (Wind tunnel) เนื่องจากการจำลองด้วยเทคนิคพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) *สามารถทดลองเกี่ยวกับกระแสลมในลักษณะ 3 มิติ รวมถึงแสดงสัญลักษณ์สีที่ชัดเจน* นิยมใช้ในวงการการออกแบบพลศาสตร์ รวมถึงการศึกษา งานวิจัยในการจำลองกลศาสตร์การไหลของลมภายนอกและในอาคาร (Fadl & Karadelis, 2013, p. 131; Daemei et al., 2018, pp. 1-2)

โปรแกรมที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์คาดการณ์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics, CFD)

ปัจจุบันโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ได้แก่

1. โปรแกรม DesignBuilder เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้านพลศาสตร์ของไหล Computational Fluid Dynamics (CFD) *ช่วยในการคำนวณสามารถจำลองผ่านคอมพิวเตอร์*สามารถประมวลผลออกมาเป็นรูปแบบ 3 มิติ และให้ข้อมูล ค่าความเร็วลม และสามารถนำไปใช้งานร่วมกับโปรแกรมด้านพลังงานอื่น ๆ เช่น Energy Plus ได้ (Ruechakorn, 2016, p. 1803) มีการแสดงผลการจำลองพลศาสตร์การไหลเวียนของกระแสลมในงานวิจัยหลากหลายด้วยกัน ด้วยโปรแกรม DesignBuilder อธิเช่น Chowdhury et al. (2010, p. 625) ศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพระบบอาคารผ่านการบูรณาการโดยเทคนิคของพลศาสตร์การไหลเวียนของกระแสลม รวมถึง Torrea and Yousif (2014, p. 231) ประเมินการไหลเวียนของอากาศผ่านทางหลังคา โดยการใช้โปรแกรม DesignBuilder ร่วมกับ Energy Plus โปรแกรม DesignBuilder มีหลักการที่ไม่ยุ่งยาก มีการประมวลผลที่น่าเชื่อถือและเป็นที่ยอมรับในวงการวิชาการมากมาย (Raji et al., 2020, p. 45) จึงมั่นใจได้ว่าการศึกษาการจำลองพลศาสตร์การไหลเวียนของกระแสลมที่ใช้การจำลองด้วยโปรแกรม DesignBuilder นี้มีความแม่นยำ ถูกต้องและเที่ยงตรง

2. โปรแกรม SolidWorks Flow Simulation นำมาใช้ในการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน การไหลของอากาศและพฤติกรรมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง (Bellos et al., 2016, p. 53; Bellos & Tzivanidis et al., 2016, p. 213) โดยมีพื้นฐานสมการที่ใช้ในการคำนวณเหมือนกับโปรแกรมอื่น ๆ (Ghatauray et al., 2019, p. 8904) งานวิจัยที่นำเอา SolidWorks Flow Simulation มาใช้ในการวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ เช่น การระบายอากาศของห้องที่มีการใช้ผนังแบบปกติและแบบหุ้มฉนวน (Imbabi, 2012, p. 247) การไหลเวียนของอากาศและการถ่ายเทความร้อนภายในห้องพักที่มีการปรับปรุง (Driss et al., 2016, p. 28) การอนุรักษ์พลังงานและเทคโนโลยีทดแทนสำหรับอาคารที่ต้องเผชิญกับผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและลดการใช้ความเย็น (Ascione, 2017, p. 34) การวิเคราะห์การไหลเวียนของอากาศในห้องคอมพิวเตอร์ (Palanisamy & Ayalur, 2019, p. 106) เป็นต้น ซึ่งงานวิจัยแสดงให้เห็นว่า การนำเอาโปรแกรมนี้มาใช้สามารถพัฒนาประสิทธิภาพงานทางด้านวิศวกรรมได้ทั้งสิ้น

3. โปรแกรม ANSYS Fluent ใช้สำหรับการจำลองวิเคราะห์ผล ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน และความเร็วของอากาศเมื่อผ่านบริบทโดยรอบอาคาร งานวิจัยการศึกษาเชิงตัวเลขเพื่อทำนายอิทธิพลของการวางต้นไม้รอบอาคารต่อค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนผิวอาคาร (Charoonrak, 2015, p. 16) นอกจากนี้ยังมีโปรแกรมที่ใช้ในการวิเคราะห์คาดการณ์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) อธิเช่น Converge, CFX, Comsol เป็นต้น

การวิเคราะห์หาแนวทางที่เหมาะสมสำหรับโครงการอาคารที่ต้องทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม

การวิเคราะห์หาแนวทางที่เหมาะสมสำหรับโครงการอาคารที่ต้องทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ทำการศึกษาวิเคราะห์จากวรรณกรรมที่เกี่ยงข้องกับ แนวทางการจัดทำรายงานประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมโครงการอาคารสำหรับการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ด้านการเปลี่ยนแปลงของลมจากการก่อสร้าง จากการประชุมกองวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมร่วมกับผู้ทรงคุณวุฒิที่เกี่ยวข้อง เมื่อวันที่ 9 ธันวาคม 2563 (Milinthisamai, 2021, p. 5) ในประเด็นของหลักการมาตรฐานตามข้อกำหนด จำนวน 3 วรรณกรรม มาเปรียบเทียบกับการใช้

โปรแกรมการวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณของผู้ประเมิน จำนวน 2 ท่าน ในการจัดทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของโครงการอาคารที่ผ่านเกณฑ์การประเมินแล้ว รวมถึงข้อห่วงกังวลจากผู้อยู่อาศัยโดยรอบโครงการอาคารจำนวน 12 โครงการที่จัดทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์หาแนวทางที่เหมาะสมสำหรับโครงการอาคารที่ต้องทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม

เรื่องพิจารณา	วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	ผู้ประเมิน simulator	ข้อห่วงกังวล จากผู้อยู่อาศัยโดยรอบ	แนวทางที่เหมาะสม
ข้อมูลความเร็วลมและทิศทางลมทิศ	- ใช้ข้อมูลความเร็วลมโดยข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา นำข้อมูลความเร็วลมและทิศทางลมทิศซึ่งบันทึกไว้เป็นค่าเฉลี่ยและ ค่าความเร็วลมสูงสุดเป็นรายเดือน ในช่วงระยะเวลา 10 ปีล่าสุด	- ใช้ข้อมูลความเร็วลมโดยข้อมูลกรมอุตุนิยมวิทยา โดยคำนึงถึงที่ตั้งโครงการ และบริบทโดยรอบของโครงการ เพื่อให้ข้อมูลกระแสลมเป็นไปตามพื้นที่นั้น ๆ จะประเมินด้วยทิศทางลม และความเร็วลมเฉลี่ย ที่สรุปของทั้ง 12 เดือน เป็นหลักในเบื้องต้น	- หากมีข้อห่วงกังวลเพิ่มเติม จึงจะจัดทำการประเมินทั้ง 12 เดือน	- ใช้ข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา เพราะเป็นข้อมูลค่าความเร็วลมที่น่าเชื่อถือ ตลอดจนเป็นข้อมูลที่มีสถิติในช่วงคาบ 10 ปี ที่มีอัพเดทล่าสุด รวมถึงมีความสอดคล้องกับลักษณะของสภาพอากาศของแต่ละพื้นที่นั้น
ค่าความเร็วลม	- ใช้ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (mean)	- โดยปกติการประเมินจะใช้ค่าความเร็วลมเฉลี่ยเป็นหลัก เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้การเปลี่ยนแปลงของกระแสลม	- หากโครงการอยู่ในพื้นที่ที่เสี่ยงต่อการเกิดลมแรง ลมกรรโชก ลมพายุ เช่น พื้นที่ใกล้ชายทะเล เป็นต้น จะทำการประเมินด้วยความเร็วลมเฉลี่ย และความเร็วลมสูงสุดของพื้นที่นั้นด้วย เพื่อประเมินความเสี่ยงร้ายแรงที่จะเกิดขึ้นกับบริบทโดยรอบโครงการ	- หากเป็นโครงการอาคารในพื้นที่ในเขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล ใช้ค่าความเร็วลมเฉลี่ย (mean) เนื่องจากสภาพพื้นที่ในเขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล มีความเร็วลมไม่แรง แต่หากเป็นโครงการอาคารในพื้นที่ที่มีสภาพสิ่งแวดล้อม แตกต่างจากในเมือง เช่น ใกล้ชายทะเล จะทำการประเมินด้วยความเร็วลมเฉลี่ย และความเร็วลมสูงสุดของพื้นที่นั้น เพื่อประเมินความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นกับบริบทโดยรอบโครงการ
กรอบของแบบจำลอง	- จำลองแบบ 3 มิติ - มีขนาด กว้าง x ยาว x สูง มากกว่าหรือเท่ากับ 12H x 20H x 11H เมื่อ H คือความสูงของอาคาร - การวางตัวอาคารในแบบจำลองด้านอาคารที่หันหน้าเข้ารับลม ควรห่างขอบเขต	- จำลองแบบ 3 มิติ - อาคารที่มีความสูงน้อยกว่า 23 เมตร จากระดับถนนที่อยู่รอบโครงการ สามารถประเมินบริบทโดยรอบในรัศมี 100 เมตร เนื่องจากความแรงของกระแสลมที่สามารถส่งผลกระทบได้นั้น อยู่ในระยะของรัศมีการศึกษา	- มีข้อห่วงกังวลจากโครงการความสูง 43 ชั้น ของผู้ห่วงกังวลในรัศมี 300 เมตร เมื่อผู้ประเมินศึกษา จะเห็นได้ว่าความเร็วลมที่เปลี่ยนแปลงและเกิดผลกระทบจะอยู่ในช่วงรัศมี การศึกษาของบริบทโดยรอบโครงการ 200 เมตร	- อาคารที่มีความสูงน้อยกว่า 23 เมตร จากระดับถนนที่อยู่รอบโครงการ สามารถประเมินบริบทโดยรอบในรัศมี 100 เมตร เนื่องจากความแรงของกระแสลมที่สามารถส่งผลกระทบได้นั้น อยู่ในระยะของรัศมีการศึกษา
	ของแบบจำลอง ไม่น้อยกว่า 5H ด้านหลังอาคารไม่น้อยกว่า 15H และด้านข้างของแบบจำลองไม่ควรน้อยกว่าด้านละ 6H นับจากขอบของบริเวณที่ต้องจำลอง	- อาคารที่มีความสูงตั้งแต่ 8 ชั้น หรือ 23 เมตรจากระดับถนนที่อยู่รอบโครงการ สามารถประเมินบริบทโดยรอบในรัศมี 200 เมตร เนื่องจากความแรงของกระแสลมที่สามารถส่งผลกระทบได้นั้น อยู่ในระยะของรัศมีการศึกษา		- อาคารที่มีความสูงตั้งแต่ 8 ชั้น หรือ 23 เมตรจากระดับถนนที่อยู่รอบโครงการ สามารถประเมินบริบทโดยรอบในรัศมี 200 เมตร เนื่องจากความแรงของกระแสลมที่สามารถส่งผลกระทบได้นั้น อยู่ในระยะของรัศมีการศึกษา

ตารางที่ 2 (ต่อ)

เรื่องพิจารณา	วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	ผู้ประเมิน simulator	ข้อห่วงกังวลจากผู้อยู่อาศัยโดยรอบ	แนวทางที่เหมาะสม
รายละเอียดของการสร้างกริดในการจำลอง simulation	- ให้ระบุการสร้างกริดใน กรอบของแบบจำลองว่ามีกี่ layer, row, column และ grid เป็นแบบใด (hexahedral, tetrahedral, polyhedral หรือเป็นแบบผสม) จำนวนและขนาดของ element หรือเซลล์ที่สร้างขึ้น และตำแหน่งของ element ดังกล่าวในกริด โดยการสร้างกริดควรแบ่งจำนวน layer ของความสูงที่ระดับ 2 เมตรจากพื้นดินให้มีจำนวนไม่น้อยกว่า 4 เมตร	- การตั้งค่าคำนวณของไหลเป็นแบบ Turbulence k-**ε** รูปแบบการจำลองของลมเป็นแบบ Power law ซึ่งเป็นการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) เพื่อจำลองลักษณะการไหลของอากาศแบบ Turbulence โดยมีรอบการคำนวณที่ 1,000 รอบ และมีระยะ Grid การประมวลผล 0.50 เมตร	-	- การตั้งค่าคำนวณของไหลเป็นแบบ Turbulence k-**ε** รูปแบบการจำลองของลมเป็นแบบ Power law ซึ่งเป็นการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) เพื่อจำลองลักษณะการไหลของอากาศแบบ Turbulence โดยมีรอบการคำนวณที่ 1,000 รอบ และมีระยะ Grid การประมวลผล 0.50 เมตร
ระดับความสูงจากพื้นดินที่ทำการศึกษา	- มี 2 ระดับ คือ 1) ระดับที่ 1.5 เมตร - 2.0 เมตร จากพื้นดิน 2) ระดับที่เป็นความสูงส่วนใหญ่ของบริบทโดยรอบโครงการ	- มี 2 ระดับ คือ 1) ระดับที่ 1.5 เมตร -2.0 เมตร จากพื้นดิน 2) ระดับที่เป็นความสูงส่วนใหญ่ของบริบทโดยรอบโครงการ	- หากมีข้อห่วงกังวล จากผู้อยู่อาศัยโดยรอบโครงการจะพิจารณาในการแสดงผลระดับความสูงเพิ่มขึ้นอีกได้	- มี 2 ระดับ คือ 1) ระดับที่ 1.5 เมตร -2.0 เมตร จากพื้นดิน 2) ระดับที่เป็นความสูงส่วนใหญ่ของบริบทโดยรอบโครงการ หากมีข้อห่วงกังวล จากผู้อยู่อาศัยโดยรอบโครงการจะพิจารณาโดยชี้แจงเพิ่มเติม
สมการที่ใช้ในการคำนวณ (Algorithm)	- Reynolds averaged Navier Stokes simulation (RANS) - Large eddy simulation (LES) - Unsteady RANS (URANS) simulation - Hybrid URANS/LES simulation - อื่น ๆ	- สมการ k-**ε** turbulence model ในการคำนวณการไหล	-	- ให้ระบุชนิดของสมการที่ใช้ในการคำนวณว่าเป็นแบบใด Reynolds averaged Navier Stokes simulation (RANS), Large eddy simulation (LES), Unsteady RANS (URANS) simulation, Hybrid URANS /LES simulation, k-**ε** turbulence model หรืออื่น ๆ
การแสดงผล (Output)	- แสดงผลด้วยภาพการไหลของกระแสลมในลักษณะแยกสี ตามความเร็วลม (m/s) โดยจะสามารถอ่านค่าได้ง่าย	- แสดงผลด้วยภาพการไหลของกระแสลมในลักษณะแยกสีตามความเร็วลม (m/s) โดยจะสามารถอ่านค่าได้ง่าย - แสดงภาพในแนวผังพื้น รูปตัด - แสดงภาพ 3 มิติ - การวางตำแหน่งการแสดงผลควรให้ทิศเหนืออยู่ในแนวเดียวกันเสมอ เพื่อให้ง่ายต่อการอ่านผล	-	- แสดงผลด้วยภาพการไหลของกระแสลมในลักษณะแยกสีตามความเร็วลม (m/s) โดยจะสามารถอ่านค่าได้ง่าย - แสดงภาพในแนวผังพื้น รูปตัด - แสดงภาพ 3 มิติ - การวางตำแหน่งการแสดงผลควรให้ทิศเหนืออยู่ในแนวเดียวกันเสมอ เพื่อให้ง่ายต่อการอ่านผล

ตารางที่ 2 (ต่อ)

เรื่องพิจารณา	วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	ผู้ประเมิน simulator	ข้อห่วงกังวลจากผู้อยู่อาศัยโดยรอบ	แนวทางที่เหมาะสม
การวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบกับเกณฑ์สภาวะน่าสบาย	- ให้นำผลการวิเคราะห์ความเร็วลมที่ได้มาเปรียบเทียบกับความเหมาะสมในการทำกิจกรรมของมนุษย์ (Milinthisamai, 2021, p. 7)	- วิเคราะห์ด้วยเกณฑ์การเปรียบความเร็วลมกับการรับรู้ของมนุษย์ (Olgyay, 1963, unpaged) เพื่อวิเคราะห์ด้านกระแสลมที่ส่งผลต่อสภาวะน่าสบายของมนุษย์ - วิเคราะห์ด้วยเกณฑ์ มาตราโบฟอร์ด (Beaufort scale) เพื่ออธิบายลักษณะกายภาพที่เกิดขึ้นตามความเร็วลมที่ส่งผลกระทบ (Beaufort, 1805, online)	-	สามารถเลือกเกณฑ์ในการประเมินที่เกี่ยวเนื่องกับสภาวะน่าสบายได้ดังนี้ - การวิเคราะห์ความเร็วลมที่ได้มาเปรียบเทียบกับความเหมาะสมในการทำกิจกรรมของมนุษย์ (Milinthisamai, 2021, p. 7) - นำผลการวิเคราะห์ความเร็วลมที่ได้มาเปรียบเทียบกับความเหมาะสมในการทำกิจกรรมของมนุษย์ และการรับรู้ของมนุษย์ (Olgyay, 1963, unpaged) เพื่อวิเคราะห์ด้านกระแสลมที่ส่งผลต่อสภาวะน่าสบายของมนุษย์ - วิเคราะห์ด้วยเกณฑ์ มาตราโบฟอร์ด (Beaufort scale) (Beaufort, 1805, online)
นัยสำคัญของบ้าน/อาคารที่ได้รับผลกระทบ	- การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมก่อนและหลังการมีโครงการ การประเมินการเกิดนัยสำคัญจากการเปลี่ยนแปลงระดับลมในมาตรวัดโบฟอร์ต (Yang & Fu, 2020, p. 42)	- การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมก่อนและหลังการมีโครงการ การประเมินการเกิดนัยสำคัญจากการเปลี่ยนแปลงระดับลมในมาตรวัดโบฟอร์ต (Yang & Fu, 2020, p. 42) ซึ่งหากตลอดทั้งปีเกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมก่อนและหลังการมีโครงการเทียบกับมาตรวัดโบฟอร์ตและเกิดผลการเปลี่ยนแปลงมากกว่า ร้อยละ 37.50 ของทิศทางลมที่พัดผ่านโครงการนั้น (อ้างอิงเช่นเดียวกับการประเมินผลการบดบังแสงแดดโดยสุวภา ขจรฤทธิ์ (Kachonrit, 2009, p. 125) ที่มีการกำหนดเกณฑ์ไว้ว่า หากมีการบดบังจากการก่อสร้างอาคารโครงการต่าง ๆ ว่าหากได้รับผลกระทบมากกว่าร้อยละ 37.50 ถือว่าได้รับผลกระทบด้านการบดบังแสงแดดจากการก่อสร้างอาคารโครงการต่าง ๆ ในระดับมาก)	-	- ประเมินจากความเร็วลมที่ลดลงของกระแสลมหลังก่อสร้างโครงการ หากมีลักษณะความเร็วลมลดลงข้ามห้วงความเร็วลม ตามเกณฑ์มาตราโบฟอร์ด (Beaufort scale) และหากความเร็วลมลดลงข้ามห้วงมากกว่า ร้อยละ 37.5 จากทุกทิศจะถือว่า อาคารนั้นเป็นนัยสำคัญ

สรุป

แนวทางที่เหมาะสมในการจัดทำรายงานการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม โครงการอาคารสำหรับการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ด้านการเปลี่ยนแปลงของลมจากการก่อสร้างโครงการอาคาร ได้แก่ ข้อมูลความเร็วลมจากกรมอุตุนิยมวิทยา หรือ กรมอุตุนิยมวิทยาการบิน เพราะเป็นข้อมูลค่าความเร็วลมที่น่าเชื่อถือ, ค่าความเร็วลมใช้กำหนดเป็นค่าเฉลี่ย แต่หากเป็นโครงการอาคารในพื้นที่ที่มีสภาพสิ่งแวดล้อม แตกต่างจากในเมือง เช่น ใกล้ชายทะเล จะทำการประเมินด้วยความเร็วลมเฉลี่ย และความเร็วลมสูงสุดของพื้นที่นั้น เพื่อประเมินความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นกับบริบทโดยรอบโครงการ, กรอบของแบบจำลองสำหรับอาคารที่มีความสูงน้อยกว่า 23 เมตร จากระดับถนนที่อยู่รอบโครงการ สามารถประเมินบริบทโดยรอบในรัศมี 100 เมตร และอาคารที่มีความสูงตั้งแต่ 8 ชั้น หรือ 23 เมตรจากระดับถนนที่อยู่รอบโครงการ สามารถประเมินบริบทโดยรอบในรัศมี 200 เมตร , รายละเอียดของการสร้างกริดในการจำลอง simulation โดยตั้งค่าคำนวณของไหลเป็นแบบ Turbulence k-**ε** รูปแบบการจำลองของลมเป็นแบบ Power law, ระดับความสูงจากพื้นดินที่ทำการศึกษา มี 2 ระดับ คือ ระดับที่ 1.5 เมตร -2.0 เมตร จากพื้นดิน และ ระดับที่เป็นความสูงส่วนใหญ่ของบริบทโดยรอบโครงการ, การแสดงผล (Output) ต้องชัดเจน เข้าใจง่าย, การวิเคราะห์ผลเปรียบเทียบกับเกณฑ์ สามารถเลือกเกณฑ์ในการประเมินที่เกี่ยวเนื่องกับสภาวะน่าสบาย

การแสดงผลลัพธ์จากการใช้แบบจำลองพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ มีข้อดีคือ เข้าใจได้ง่าย สามารถจำลองเป็น 3 มิติ ถึงกระนั้นก็มีข้อจำกัด คือ รายละเอียดของแบบจำลองที่ต้องใช้ระยะเวลาพอสมควรในการประมวลผล อย่างไรก็ตาม ในส่วนของค่าความเร็วลม ผู้เขียนเห็นว่า หากใช้ค่าความเร็วลมต่ำสุดมาร่วมในการพิจารณา ร่วมกับค่าลมเฉลี่ย และค่าลมสูงสุด จะมีความคลอบคลุมในหลักเกณฑ์ของสภาวะน่าสบาย ที่จะยังผลถึง ความอึดอัดและไม่สบายในแง่ค่าความเร็วลมต่ำสุดด้วย ดังนั้นในแนวทางการจัดทำรายงานการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม โครงการอาคารสำหรับการประเมิน ผลกระทบสิ่งแวดล้อม ด้านการเปลี่ยนแปลงของลมจากการก่อสร้างโครงการอาคาร สมควรจะมีการศึกษาโดยใช้ค่าความเร็วลมต่ำสุด ค่าลมเฉลี่ย และค่าลมสูงสุด

การจัดทำแนวทางในการจัดทำรายงานการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม โครงการอาคารสำหรับการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ด้านการเปลี่ยนแปลงของลมจากการก่อสร้างโครงการอาคาร ที่มีความชัดเจน จะสามารถเป็นคู่มือให้ผู้ประเมิน ตลอดจน ผู้ชำนาญการสิ่งแวดล้อม และ ประชาชนสามารถใช้แนวทางที่เหมาะสม ชัดเจน ตามหลักวิชาการ เพื่อเป็นสิ่งที่ลดความขัดแย้ง การร้องเรียน การฟ้องร้องจากประชาชน หรือผู้ที่อยู่อาศัยบริเวณโดยรอบการก่อสร้างโครงการอาคารนั้นได้ สอดคล้องกับจักรกฤษณ์ ศิวะเดชาเทพ (Siwadechathep, 2021, p. 8) ที่กล่าวถึง การกำหนดมาตรการป้องกัน ชดเชย และ/หรือเยียวยา ผู้ได้รับผลกระทบจากการก่อสร้างโครงการอาคาร ต้องกำหนดนัยสำคัญของอาคารที่ได้รับผลกระทบที่ชัดเจน และชี้แจงแก่ผู้ได้รับผลกระทบถึงมาตรการป้องกัน ชดเชย และ/หรือเยียวยาที่เกิดขึ้นให้มีความเหมาะสมและครอบคลุมมากที่สุด นอกจากแนวทางในการจัดทำรายงานการศึกษาด้านการเปลี่ยนแปลงของลมจากการก่อสร้างโครงการอาคารประกอบในรายงานการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจะเป็นประโยชน์ในการคาดการณ์ถึงผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้มและการดำเนินชีวิตของมนุษย์แล้ว ยังเป็นประโยชน์ในด้านการบริการวิชาการแก่ประชาชน เพราะเป็นแนวทางทางด้านวิชาการที่สามารถศึกษาเข้าใจได้ง่าย

เอกสารอ้างอิง

Alexander ,D. K., Jenkins, H. G., & Jones ,P. J. (1996). *A Comparison of Wind Tunnel and CFD Methods Aapplied to Natural Ventilation Design.* Welsh School of Architecture. Retrieved March 1, 2021, from http://www.ibpsa.org/proceedings/bs1997/bs97_p001.pdf

Ascione, F. (2017). Energy Conservation and Renewable Technologies for buildings to Face the Impact of the Climate Change and Minimize the Use of Cooling. *Solar Energy*, *154*, 34–100. Retrieved March 1, 2021, from https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.01.022

Beaufort, F. (1805). *Wind Measuring.* Retrieved March 2, 2021, from https://about.metservice.com/assets/static-content/learning/Winds-poster-Aug2014.pdf

Bellos, E., Korres, D., Tzivanidis, C., & Antonopoulos, K. A. (2016). Design, Simulation and Optimization of a Compound Parabolic Collector. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *16*, 53-63. Retrieved March 2, 2021, from https://doi.org/10.1016/j.seta.2016.04.005

Bellos, E., Tzivanidis, C., Antonopoulos, K. A., & Gkinis, G. (2016). Thermal Enhancement of Solar Pparabolic Trough Ccollectors by Using Nanofluids and Converging-Diverging Absorber Tube. *Renewable Energy*, *94*, 213-222. Retrieved March 2, 2021, from https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.03.062

Charoonrak, N. (2015). *Numerical Study of the Impact of Trees around Building on Heat Transfer Coefficient at Building Facade.* Thesis in Master of Architecture, Department of Architecture Faculty of Architecture and Planning Thammasat University. Retrieved March 1, 2021, from http://ethesisarchive.library.tu.ac.th/thesis/2015/TU_2015_5716030399_3165_3204.pdf (In Thai)

Chowdhury, A. A., Rasul, M. G., & Khan, M. M. (2010). Analysis of Building Systems Performance through Integrated Computation Fluid Dynamics Technique. *Proceedings of the 13th Asian Congress of Fluid Mechanics 17-21 December 2010.* Dhaka, Bangladesh. Retrieved March 1, 2021, from https://www.researchgate.net/publication/268422714_Analysis_of_Building_Systems_Performance_through_Integrated_Computation_Fluid_Dynamics_Technique/link/54db47ad0cf233119bc5b2cf/download

Daemei, A. B., Khotbehsara , E. M., Nobarani, E. M., & Bahrami, P. (2018). Study on Wind Aerodynamic and Flow Characteristics of Triangular Shaped Tall Buildings and CFD Simulation in order to Assess Drag Coefficient. *Ain Shams Engineering Journal*, 1-8. Retrieved March 1, 2021, from https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447919300255

Driss, S., Driss, Z., & Kallel, K. I. (2016). Computational Sstudy and Experimental Validation of the Hheat Ventilation in a Living Room with a Solar Patio System. *Energy and Buildings*, *119*, 28-40. Retrieved March 2, 2021, from https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.016

Fadl, M. S., & Karadelis, J. N. (2013). CFD Simulation for Wind Comfort and Safety in Urban Area: A Case Study of Coventry University Central Campus". *International Journal of Architecture, Engineering and Construction (IJAEC),* 2(2), 131-43. Retrieved March 1, 2021, from https://doi.org/10.7492/IJAEC.2013.013

Ghatauray, T. S., Ingram, J. M., & Holborn, P. G. (2019). A Comparison Study into Low Leak Rate Buoyant Gas Dispersion in a Small Fuel Cell Enclosure using Plain and Louvre Vent Passive Ventilation Schemes. *International Journal of Hydrogen Energy*, *44*(17), 8904-8913. Retrieved March 2, 2021, from https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.08.065

Imbabi, M. S. E. (2012). A Passive–Active Dynamic Insulation System for all Climates. *International Journal of Sustainable Built Environment*, *1*(2), 247-258. Retrieved March 2, 2021, from https://doi.org/ 10.1016/j.ijsbe.2013.03.002

Kachonrit, S. (2009). *Environmental Impact Analysis Guidelines: Sun lighting.* Bangkok : Chulalongkorn University. Retrieved March 1, 2021, from http://www.tnrr.in.th/?page= result_search &record_id=10381705 (In Thai)

Milinthisamai, M. (2021). *Principles and methods of impact assessment from sun and wind blocking in environmental impact accessment projects.* Documents for the project to enhance knowledge and understanding in human potential development on guidelines for preparing the Environmental Impact Assessment projects In the field of sun and wind blocking from the construction of the building project on February 16, 2021. Retrieved March 1, 2021, from https://drive.google.com/folderview?id=1T-pyXqFuSUnYSD46TiSNcta5IZmYaGus (In Thai)

Olgyay, V. (1963). "*Design with Climate : A Bioclimatic Approach to Architecture*". New Jersey : Princeton University Press.

Palanisamy, D., & Ayalur, B. K. (2019). Development and Testing of Condensate Asisted pre-cooling Unit for Improved Indoor Air Quality in a Computer Laboratory. *Building and Environment*, *163*, 106321. Retrieved March 1, 2021, from https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106321

Potipituk, C. (2021). *The study of airflow dynamics of JW Urban Hotel project.* Study Report. Rajamangala University of Technology Rattanakosin : Nakhon Pathom. (In Thai)

Raji, B., Tenpierik, M., Bokel, R., & Dobbelsteen, A. (2020). Natural Summer Ventilation Strategies for Eenergy-Ssaving in High-Rise Buildings: A Case Study in the Netherlands. *International Journal of Ventilation*, *19*(1), 25-48. Retrieved March 1, 2021, from https://doi.org/ 10.1080/14733315.2018.1524210

Ruechakorn, T. (2016). *The opening design of row houses for comfort ventilation, case study : Baan Eua-Arthorn Project, Phra Nakorn Sri Ayutthaya.* National academic conferences " Naresuan Research" No. 12: Naresuan Research Conference. 21-22 July 2016. Retrieved March 1, 2021, from http://conference.nu.ac.th/nrc12/downloadPro.php?pID=249&file=249.pdf (In Thai)

Siwadechathep, J. (2021). Preventive and corrective measures from sun and wind blocking in environmental impact assessment project. *Documents for the project to enhance*

knowledge and understanding in human potential development on guidelines for preparing the Environmental Impact Assessment projects In the field of sun and wind blocking from the construction of the building project on February 16, 2021 (pp. 1798-1813). Retrieved March 1, 2021, from https://drive.google.com/folderview?id=1 T-pyXq FuSUnYSD46TiSNcta5IZmYaGus (In Thai)

Tawonwan, T, & Wansao, C. (2016). A study of behavior of the air flow through circular cylinder rows in the low speed wind tunnel with computational fluid dynamics technique. *The 1st National Academic Conference Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, 2017* (pp. 32-45). Retrieved March 1, 2021, from https://li01.tci-thaijo.org/index.php/ rmutsb-sci/article/download/99511 /77331/ (In Thai)

Torrea , S. de la, & Yousif, C. (2014). Evaluation of Chimney Stack Effect in a New Brewery using DesignBuilder-EnergyPlus Software. *Energy Procedia*. Retrieved March 1, 2021, from https://cyberleninka.org/article/n/273547.pdf

Watts, C. (2018). *CFD vs Wind Tunnel Analysis in the Design Phase of the Construction Industry*. Retrieved March 1, 2021, from https://www.linkedin.com/pulse/cfd-vs-wind-tunnel-analysis-design-phase-construction-catherine-watts

Yang, J., & Fu, X. (2020). *The Centre of City: Wind Environment and Spatial Morphology. Springer : Singapore.* Retrieved March 2, 2021, from https://books.google.co.th/books?id= 5DK0 DwAAQBAJ&pg=PA39&lpg=PA39&dq=wind+comfort+zone+significance&source=bl&ots=Rj 48sYTi_l&sig= ACfU3U2Gx2kXZe6pQP_9VASHnn0s6lgI4Q&hl= th&sa= X&ved= 2ahUKEwiJ_J-1mYjoAhVXwTgGHcpSAZM4ChDoATAHegQIChAB#v=onepage&q=wind%20comfort%20zone%20significance&f=false

ผู้เขียนบทความ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฉันทมน โพธิพิทักษ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีสถาปัตยกรรม
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
ที่อยู่ 96 หมู่ 3 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล
จังหวัดนครปฐม 73170
E-mail: chantamon.pot@rmutr.ac.th